

REPORT DOCUMENTATION PAGE

Form Approved OMB No. 0704-0188

Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503.

1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)		2. REPORT DATE February 2005	3. REPORT TYPE AND DATES COVERED Final Report	
4. TITLE AND SUBTITLE Physical Protection; the state of the art			5. FUNDING NUMBERS B04CO4AU 014.16362	
6. AUTHOR(S) Dr. S. v.d. Gijp, Dr. M.J.G. Linders, T. van Houwelingen, Dr. I.L. Tuinman and G.M. Swenker				
7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands			8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER DV2 2005-A1	
9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Koninklijke Landmacht/MATLOGCO/BBV/KPU-Bedrijf P.O. Box 109 3769DA Soesterberg, The Netherlands			10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER TD2005-0001	
11. SUPPLEMENTARY NOTES Text in Dutch, 32 pages (excluding RDP and distribution list).				
12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited. Copyrighted.			12b. DISTRIBUTION CODE	
ABSTRACT (Maximum 200 words) The study gives an overview of the current state of the art in physical protection. Protection provided to personnel by protective barriers in a military NBC-environment is considered. This covers respiratory protection, skin protection and collective protection. Air purification forms a base for the three aspects of protection. The most used current technologies and equipment types are mentioned and explained. Current problems and short-comings are mentioned and explained in the light of the modern threat and current operational use. Promising technologies that may solve these shortcomings in the nearby future are described and explained. Developments within NATO regarding doctrine and requirements are incorporated as well as the most recent developments of technology by companies. Alternative sorption technologies and improved filtration are considered to be of importance for the coming years, as well as new lightweight materials, active materials and improved, modular or integrated design with lesser physiological burden for the user. The study will provide a guideline regarding technology and equipment development in the field of military CB-defence for the next decade.				
14. SUBJECT TERMS TNO, Dutch, Physical protection, IPE, Respiratory protection, Skin protection, NBC-clothing, Collective protection, Soldier Modernization Program, NBC-defence, Aerosol protection			15. NUMBER OF PAGES	
			16. PRICE CODE	
17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT UNCLASSIFIED	18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE UNCLASSIFIED	19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT UNCLASSIFIED	20. LIMITATION OF ABSTRACT UL	

NSN 7540-01-280-5500

Standard Form 298 (Rev. 2-89)
Prescribed by ANSI Std. Z39-18
298-102



Feb 2005

TNO-rapport

DV2 2005-A1

Stand van zaken fysieke bescherming

Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl

T +31 15 28 42842
F +31 15 28 43991
InfoDenV@tno.nl

Datum	februari 2005
Auteur(s)	dr. S. van der Gijp, dr. ir. M.J.G. Linders, drs. T. van Houwelingen, dr. ir. I.L. Tuinman en G.M. Swenker
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	ir. J.F. Engelen
Vastgesteld d.d.	19 januari 2005 (Deze rubricering wijzigt niet)
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	9
Oplage	22
Aantal pagina's	32 (excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	0

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for Public Release
Distribution Unlimited

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2005 TNO

20060630236

AQ F06-09-6861

Stand van zaken fysieke bescherming

Probleemstelling

Met deze studie, uitgevoerd voor het Ministerie van Defensie, wordt een overzicht aangereikt van de huidige stand van zaken op het gebied van fysieke bescherming tegen BC-agentia in militaire situaties. De studie maakt deel uit van het V013-onderzoeksprogramma op het gebied van de passieve verdediging tegen NBC-wapens.

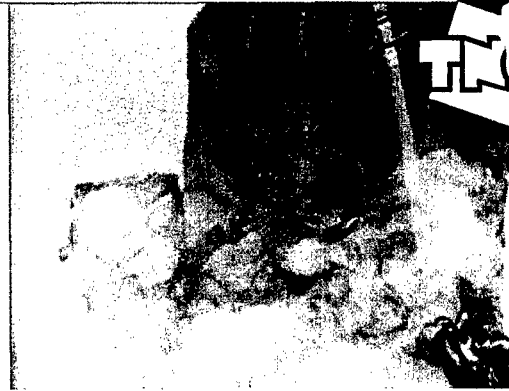
Fysieke bescherming vormt één van de schakels in het geheel van passieve NBC-verdediging. De andere deelgebieden zijn dreigingsanalyse, kwetsbaarheidanalyse, detectie, ontsmetting en medische tegenmaatregelen. De samenhang tussen deze schakels is van cruciaal belang voor een adequate NBC-verdediging. De fysieke bescherming beoogt door middel van een fysieke barrière tussen de individuele militair (groep van militairen) en een bedreigende omgeving, bescherming te bieden. De belangrijkste randvoorwaarde bestaat hierin dat deze barrière zodanig uitgevoerd dient te zijn dat de noodzakelijke interactie van de militair met zijn omgeving zo min mogelijk wordt gehinderd.

In de praktijk kan fysieke bescherming onderverdeeld worden in vier aandachtsgebieden:

- luchtzuiveringsprocessen;
- respiratoire bescherming;
- huidbescherming;
- collectieve bescherming.

Beschrijving van de werkzaamheden

De algemeen gebruikte beschermende uitrusting en de meest toegepaste technologieën worden besproken en gezien in het licht van de dreiging en de gedachte toepassing.



Hiermee wordt inzicht verkregen in de bestaande problemen en beperkingen, terwijl ook benaderingen gedefinieerd worden die tot oplossingen kunnen leiden. Tevens worden veelbelovende technologische ontwikkelingen beschreven die mogelijk in de toekomst oplossingen kunnen bieden voor de gesignaleerde problemen. Nadrukkelijk komen de inzichten en aanbevelingen aan de orde die zijn voortgekomen uit de recent afgeronde NATO-studie LTSS SAS-024 'on the defensive aspects of CB warfare'.

Resultaten en conclusies

Luchtzuivering is het meest fundamentele facet, aangezien het de basis vormt van elk van de overige drie. Wat betreft protectie tegen gasvormige contaminanten zal sorptie in de voorzienbare toekomst van primair belang blijven. Nieuwe veelbelovende adsorbentia, zoals monolieten, dienen zich aan. Aërosolfiltratie staat thans in het brandpunt van de belangstelling in verband met de bescherming tegen biologische agentia. Het blijkt dat de definitie van de dreiging van groot belang is voor de configuratie van de bescherming.

TNO-rapportnummer

DTZ 2003-01

Opdrachtnummer

BDIC021AE

Datum

februari 2003

Auteur(s)

dr. S. van der Gijp
dr. ir. M. E. G. Linders
dr. E. van Houtelingen
dr. ir. H. E. Palmman
dr. C. M. Swenker

Rubricering rapport

Ongedistribueerd

Voor individuele ademprotectie is vooruitgang mogelijk door gebruik van nieuwe materialen en andere geometrische vormen, terwijl voor huidbescherming semi-permeabele materialen mogelijk een rol kunnen gaan spelen. Nieuwe, door ontwikkelingen in de industrie geïnspireerde gasafscheidingstechnieken dienen zich aan voor toepassing binnen ColPro.

Wat betreft de barrièrefuncties van individuele protectie is het van groot belang dat fysiek belastende en ergonomische aspecten verbeterd worden, terwijl bij ColPro de in- en uittrede problematiek en de logistiek aandacht dienen te krijgen.

PROGRAMMA

Programmabegeleider
KLTZAR N.I. van Zaalen-Boelema
Robertus, MGFB

Programmaleider
dr. M.W. Leeuw, TNO Defensie en
Veiligheid

Programmatitel
Pasieve NBC-verdediging tegen NBC-
wapens

Programmanummer
V013

Programmaplanning
Start 01-01-2001
Gereed 31-12-2003

Frequentie van overleg
Met de projectbegeleider werd diverse
malen gesproken over de invulling en de
voortgang van het onderzoek.

Toepasbaarheid

Defensie zal met de resultaten van onderhavige studie haar materieelbehoefte in het kader van fysieke bescherming beter kunnen plannen en realiseren. Ook draagt het overzicht bij aan de mogelijkheid gefundeerd richting te geven aan het toekomstige onderzoek, zoals het programma V502.

Vervolgonderzoek

Over vervolgonderzoek zijn geen afspraken gemaakt.

PROJECT

Projectbegeleider
ir. J.F. Engelen,
Koninklijke Landmacht,
NATCO/LBBKL/KPU-bedrijf

Projectleider
G.M. Swenker, TNO Defensie en
Veiligheid, Business Unit Biologische
en Chemische Bescherming

Projecttitel
523 Stand van zaken fysieke
bescherming

Projectnummer
014.16362

Projectplanning
Start 01-01-2002
Gereed 31-12-2004

Projectteam
TNO Defensie en Veiligheid,
dr. J. Kaayk, dr. ir. I.L. Tuinman,
drs. T. van Houwelingen,
dr. ir. M.J.G. Linders,
dr. ing. S. van der Gijp, G. Swenker

TNO

Lange Kleiweg 137
2288 GJ Rijswijk
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl
www.pml.tno.nl

T 015 284 28 42
F 015 284 39 91
E info@pml.tno.nl



Samenvatting

Met deze studie wordt een overzicht aangereikt van de huidige stand van zaken op het gebied van fysieke bescherming tegen BC-agentia in militaire situaties. Fysieke bescherming vormt één van de schakels in het geheel van passieve NBC-verdediging. De andere deelgebieden zijn dreigingsanalyse, kwetsbaarheidanalyse, detectie, ontsmetting en medische tegenmaatregelen. De samenhang tussen deze schakels is van cruciaal belang voor een adequate NBC-verdediging. De fysieke bescherming beoogt door middel van een fysieke barrière tussen de individuele militair (groep van militairen) en een bedreigende omgeving, bescherming te bieden. De belangrijkste randvoorwaarde bestaat hierin dat deze barrière zodanig uitgevoerd dient te zijn dat de noodzakelijke interactie van de militair met zijn omgeving zo min mogelijk wordt gehinderd.

In de praktijk kan fysieke bescherming onderverdeeld worden in 4 aandachtsgebieden.

- Luchtzuiveringsprocessen.
- Respiratoire bescherming.
- Huidbescherming.
- Collectieve bescherming.

De algemeen gebruikte beschermende uitrusting en de meest toegepaste technologieën worden besproken en gezien in het licht van de dreiging en de gedachte toepassing. Hiermee wordt inzicht verkregen in de bestaande problemen en beperkingen, terwijl ook benaderingen gedefinieerd worden die tot oplossingen kunnen leiden. Tevens worden veelbelovende technologische ontwikkelingen beschreven die mogelijk in de toekomst oplossingen kunnen bieden voor de gesignaleerde problemen. Nadrukkelijk komen de inzichten en aanbevelingen aan de orde die zijn voortgekomen uit de recent afgeronde NATO-studie LTSS SAS-024 'on the defensive aspects of CB warfare'.

Luchtzuivering is het meest fundamentele facet, aangezien het de basis vormt van elk van de overige drie. Wat betreft protectie tegen gasvormige contaminanten zal sorptie in de voorzienbare toekomst van primair belang blijven. Aërosolfiltratie staat thans in het brandpunt van de belangstelling in verband met de bescherming tegen biologische agentia. Het blijkt dat de definitie van de dreiging van groot belang is voor de configuratie van de bescherming.

Voor individuele ademprotectie is vooruitgang mogelijk door gebruik van nieuwe materialen en andere geometrische vormen, terwijl voor huidbescherming semi-permeabele materialen mogelijk een rol kunnen gaan spelen. Nieuwe, door ontwikkelingen in de industrie geïnspireerde gasafscheidingstechnieken dienen zich aan voor toepassing binnen ColPro.

Wat betreft de barrièrefuncties van individuele protectie is het van groot belang dat fysiek belastende en ergonomische aspecten verbeterd worden, terwijl bij ColPro de in- en uittrede problematiek en de logistiek aandacht dienen te krijgen.

Summary

The study gives an overview of the current state of the art in physical protection. Protection provided to personnel by protective barriers in a military NBC-environment is considered. This covers respiratory protection, skin protection & collective protection. Air purification forms a base for the three aspects of protection. The most used current technologies and equipment types are mentioned and explained. Current problems and shortcomings are mentioned and explained in the light of the modern threat and current operational use. Promising technologies that may solve these shortcomings in the nearby future are described and explained. Developments within NATO regarding doctrine and requirements are incorporated as well as the most recent developments of technology by companies. Alternative sorption technologies and improved filtration are considered to be of importance for the coming years, as well as new lightweight materials, active materials and improved, modular or integrated design with lesser physiological burden for the user. The study will provide a guideline regarding technology & equipment development in the field of military CB-defence for the next decade.

Inhoudsopgave

	Managementuittreksel.....	2
	Samenvatting.....	4
	Summary	5
1	Luchtzuiveringsprocessen.....	7
1.1	Inleiding.....	7
1.2	De huidige technologie; adsorptie	7
1.3	Nieuwe technologieën; alternatieve technieken en materialen voor luchtzuivering	8
2	Respiratoire bescherming	14
2.1	Inleiding.....	14
2.2	Huidige technologieën.....	14
2.3	Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen	15
3	Bescherming tegen aerosolen.....	18
3.1	Inleiding.....	18
3.2	Huidige technologieën; beperkingen.....	18
3.3	Ontwikkelingen op het gebied van dreiging	18
3.4	Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen	19
4	Beschermende kleding.....	20
4.1	Inleiding.....	20
4.2	Huidige technologieën; beperkingen en problemen	20
4.3	Testmethodologie	21
4.4	Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen	22
5	Collectieve bescherming.....	25
5.1	Inleiding.....	25
5.2	Huidige technologie en uitrusting.....	25
5.3	Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen	26
6	Specifieke kennis en onderzoeksbehoeften	29
6.1	Inleiding.....	29
6.2	Onderzoek en projecten.....	30
6.3	Additionele opmerkingen	31
7	Ondertekening	32

1 Luchtzuiveringsprocessen

1.1 Inleiding

De huidige basis (fundamentele processen) waarop luchtzuivering ten behoeve van fysieke bescherming is gebaseerd, namelijk adsorptie voor dampen en filtratie voor aerosolen (deeltjes), zullen onmiskenbaar een essentiële rol blijven vervullen in de voorzienbare toekomst. Deze processen dienen echter verbeterd te worden om de benodigde bescherming te bieden tegen een breder bereik van bedreigingen en om de fysieke belasting voor de gebruiker te verminderen. Dit betekent dat zowel adsorptie van dampen alsmede aerosolfiltratie beter begrepen moeten worden en efficiënter moeten worden toegepast, waar mogelijk gebruik makend van nieuwe materialen. Alternatieve processen die een praktisch oneindige capaciteit bezitten voor de verwijdering van dampen dienen nagestreefd te worden om de beschermingszekerheid te vergroten en de logistieke last te verminderen.

Voor wat betreft de bescherming tegen damp kunnen de volgende problemen worden geïdentificeerd.

- Onbekendheid van de beperkte levensduur van filters.
- Ademweerstand en volume van individuele filters.
- Verkorting gebruiksduur filters door waterdamp.
- Temperatuurstijging van kool bij hoge concentraties van bepaalde TIC's.
- Logistieke last voortvloeiend uit de noodzaak tot herbevoorrading van filters.

Genoemde problemen zijn alle in meer of mindere mate terug te voeren op het luchtzuiveringsproces adsorptie en worden hierna uitgebreider behandeld.

1.2 De huidige technologie; adsorptie

De individuele bescherming tegen C-agentia is gebaseerd op adsorptie aan actieve kool, zowel in gasmaskerfilterbussen als in beschermende kleding. Het valt niet te verwachten dat hierin op afzienbare termijn verandering zal optreden. Om redenen van protectie, fysieke belasting en comfort blijft verbetering van filters van belang: met minder materiaal/gewicht/volume dezelfde prestatie, of met hetzelfde materiaal/gewicht/volume betere prestaties leveren. Ook andere vormen van filters en nieuwe, vereiste functies (TIC's; Toxic Industrial Chemicals) dienen optimaal te worden gerealiseerd, dus mede op basis van inzicht. Ofschoon voor collectieve protectie andere, niet op adsorptie gebaseerde methoden in ontwikkeling zijn, blijft adsorptie aan actieve kool ook daar van belang. Bovendien zullen de optredende fysische verschijnselen zoals thermodynamisch evenwicht, transport door middel van diffusie, en de ontwikkelde numerieke procedures ook voor deze andere potentiële scheidingsmethoden, bijvoorbeeld PSA en membraantechnologie, van belang zijn.

Bij adsorptie wordt onderscheid gemaakt tussen fysisorptie en chemisorptie. Bij fysisorptie zijn de krachten relatief zwak, voornamelijk bestaand uit Van der Waals-interacties. Dit in tegenstelling tot chemisorptie waarbij sprake is van een significante elektronen overdracht, vergelijkbaar met de vorming van een chemische binding. Dergelijke interacties zijn zowel sterker als specifiekere dan de Van der Waals-krachten. Fysisorptie is het overheersende mechanisme voor niet-vluchtige agentia, bijvoorbeeld zenuwgassen. Het is echter wel een reversibel proces en daardoor in potentie risicovol voor wat betreft desorptie. Desorptie van stoffen die initieel geadsorbeerd zijn, kan een

probleem opleveren bij voortdurend/langdurig gebruik van een filter. Lichte, vluchtige dampen zoals cyanides, perfluor verbindingen en verscheidene TIC's (bijvoorbeeld ammoniak, chloor) worden niet sterk geadsorbeerd door poreuze media als zodanig. Dergelijke stoffen worden afgevangen door middel van (katalytische) reactie en complexering met impregnanten die speciaal hiervoor op de poreuze media (actieve kool) zijn aangebracht: deze mechanismen worden samengevat onder de noemer chemisorptie, wat in de regel een irreversibel proces is.

1.3 Nieuwe technologieën; alternatieve technieken en materialen voor luchtzuivering

Alternatieve gasscheidingsmethoden

Alternatieve gasscheidingsmethoden waaraan in verschillende landen is gewerkt de afgelopen jaren zijn: katalytische oxidatie, destructie door middel van plasma, Pressure Swing Adsorption (PSA), al dan niet gecombineerd met Temperature Swing Adsorption (PTSA) en membraangasscheiding. Aan de eerste twee alternatieve methoden heeft het TNO-PML nooit experimenteel gewerkt. Het vooruitzicht op voldoende reiniging lijkt technisch gesproken ook het minst zeker, afgezien nog van de vraag naar omvang en energiegebruik. PSA en membraantechnologie lijken qua reinigingsvermogen het meest belovend, zij het dat aan een membraangasafscheidingmodule in zijn eenvoudigste realisering een mini actief koolfilter gekoppeld zou moeten worden om een voldoende reductie van de concentratie te verkrijgen. Waar P(T)SA alleen toegepast kan worden voor collectieve protectie (ColPro) gezien de omvang en energiegebruik, is membraantechnologie naast toepassing in ColPro mogelijk ook geschikt voor toepassing in de individuele protectie (IP).

Het TNO-PML heeft enkele jaren geleden prioriteit gegeven aan een experimentele haalbaarheidsstudie van membraangasscheiding voor C-doeleinden. Op de eerste plaats is een membraanmodule betrekkelijk eenvoudig qua constructie en heeft, afgezien van een ventilator, geen bewegende delen. De eigenlijke, vooralsnog onbeantwoorde, vraag is of er materialen beschikbaar zijn die voldoende permeabel zijn voor de af te scheiden toxische gassen. De toepassing van verscheidene modules in serie, elk geschikt voor een bepaalde damp of groep van dampen (bijvoorbeeld één voor C agentia en één voor TIC's), is een denkbare optie. Bovendien bestaat er in Nederland een relatief grote hoeveelheid kennis over membraantechnologie, met name TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP) beschikt over procestechnologische kennis. Indien de essentiële resultaten met betrekking tot de vereiste permeabele materialen succesvol zijn, is samenwerking daardoor gemakkelijk te realiseren. Het is voor de hand liggend te veronderstellen dat, indien membraantechnologie bruikbaar is voor ColPro-doeleinden, zij dat ook zou kunnen zijn voor IP. Immers, de verhouding van benodigde luchtstromen voor ColPro en IP wordt gereflecteerd in de verhouding van de volumes van actief koolfilters voor ColPro en IP, zij het dat de actief koolvolumes niet noodzakelijkerwijs recht evenredig zijn aan de luchtstromen. Aangezien de verhouding van de luchtstromen ook weerspiegeld wordt in de volumeverhouding van de benodigde membraanmodules, is het benodigde volume aan membraanmodule voor IP niet bij voorbaat prohibitief groot.

Recentelijk is door TNO-MEP op basis van een experimentele studie geconcludeerd dat de afvang van strijdgasen uit luchtstromen in principe technisch haalbaar is. Twee processen worden aanbevolen. De eerste is gasscheidingsmembranen waarbij een configuratie met stripgas in tegenstroom het meest interessant is. Metingen hebben aangetoond dat realistische permeabiliteiten worden gehaald. De tweede is membraangasabsorptie waarbij een gasstroom via een membraan in contact wordt gebracht met een vloeistof. Dit lijkt een aantrekkelijke mogelijkheid vanwege de naar

verwachting hogere waarden voor de permeabiliteit en het hieruit volgende lagere benodigde membraanoppervlak. Een alkalische absorptievloeistof is gewenst omdat diverse strijdgassen hydrolyseerbaar zijn.

Monolieten

De toepassing van andere gasscheidingsmethoden impliceert niet dat actieve kool geen enkele rol meer hoeft te spelen. Interessante alternatieven voor actieve kool in deeltjesvorm zijn andere vormen van actieve kool, zoals bijvoorbeeld koolstof monolieten. Monolieten zijn honingraatachtige, vaste structuren die bestaan uit vele parallelle kanaaltjes. Verreweg het bekendst zijn de keramische monolieten die bijvoorbeeld worden toegepast in drieweg katalysatoren voor auto's. Relatief nieuw zijn koolstof monolieten, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen twee typen: keramische monolieten die zijn gecoat met een koolstof laagje en monolieten die volledig uit koolstof bestaan.

Monolithische structuren hebben een aantal voordelen ten opzichte van de klassieke koolfiltervorm; deeltjes in gepakte bedden. De belangrijkste zijn: zeer lage drukval en korte diffusie afstanden (betere massa overdracht). De combinatie van korte diffusie afstanden en lage drukval maakt monolieten in principe zeer geschikt voor adembescherming. In adsorptie processen kan de drukval een energetisch discussiepunt zijn. Vermindering van de drukval kan energie besparen. Dit is met name het geval, en dus een belangrijke factor, in grote filters zoals voor ColPro. Voor individuele filters is een lage drukval van belang in verband met de fysieke belasting en het comfort alsook om lekkage tegen te gaan.

Een andere wenselijke eigenschap van filters is een langere levensduur, oftewel ze moeten geregenereerd kunnen worden om een continue werking te bewerkstelligen. In eerste instantie lijkt regeneratie van filters alleen voor ColPro-filters toepasbaar. Echter, hoewel regeneratie van individuele filters (gasmaskers) nog niet wordt toegepast, kan een makkelijke regeneratie van het filter voordelig blijken. Koolstof monolieten kunnen elektrisch geleidbaar worden gemaakt door een geschikte thermische behandeling. Hierdoor wordt elektrische regeneratie van monolieten mogelijk, iets wat met de klassieke gepakte bedden onmogelijk is.

Andere alternatieve materialen

Er worden nieuwe typen actieve kolen ontwikkeld zoals kooldoek 'charcoal cloth' en kooldraad 'charcoal fibre', veelal gemaakt van polymeren. Tevens verschijnen er andere, niet op kool gebaseerde, adsorbentia. Een belangrijk aspect bij de ontwikkeling van deze materialen is hun geschiktheid om impregnanten op te nemen ten behoeve van de chemisorptie.

Daarnaast is er een ontwikkeling om actieve kolen te immobiliseren door gebruik te maken van een binder, of door de deeltjes op te nemen in een web van draden zodat er geen beweging meer mogelijk is van kooldeeltjes. Beweging is ongewenst omdat het lekkage veroorzaakt doordat er openingen ontstaan. Tegelijkertijd resulteert dit in een grotere flexibiliteit bij het ontwerp van filters. Een voorbeeld van een geïmmobiliseerd materiaal is een vernet polyurethaan schuim ('reticulated foam'). Dit is een poreus schuim waarin kooldeeltjes zijn aangebracht op een netwerk van polyurethaan. Een interessante ontwikkeling vindt plaats bij het Engelse onderzoeksinstituut DSTL waar wordt onderzocht of kooldraden zijn toe te passen voor zowel de verwijdering van aerosolen als dampen. In dat geval functioneert het materiaal tegelijkertijd als deeltjesfilter en als adsorbens. De voordelen zijn een lagere drukval en een eenvoudiger constructie.

Tot slot is er de zeer interessante, maar nog vrij experimentele, ontwikkeling van de zogenaamde nanotubes. Nanotubes bestaan uit grafietlagen die zijn opgerold als cilinders. Met slechts enkele nanometers diameter en enkele millimeters lang, hebben ze een extreem grote lengte-diameter verhouding. Ze hebben bijzondere eigenschappen zoals enorme sterkte, flexibiliteit, en hoge capaciteit. Toepassingen die worden ontwikkeld zijn zeer divers, zoals de gedoseerde afgifte van medicijnen, kwantum computers en batterijen. Op het gebied van adsorptie wordt gewerkt aan de toepassing als brandstofcellen; bijvoorbeeld de opslag van waterstof in nanotubes. Nanotubes zijn een interessante ontwikkeling die gevolgd dient te worden en die nog tot verrassende ontdekkingen kan leiden.

End of Service Life Indicator; ESLI

Binnen de NAVO, maar ook door individuele landen, is onderkend dat een eenvoudige, betrouwbare detectiemethode om het einde van de levensduur van een filter te bepalen, zeer gewenst is. Recente ontwikkelingen op dit gebied betreffen 'in-filterbed' detectie en productstroom detectie. Er wordt gebruik gemaakt van miniatuur dampsensoren zoals de 'surface acoustic wave', van halfgeleider en van foto-ionisatie sensoren. Vooral naar de 'surface acoustic wave' (SAW) sensoren wordt door diverse instanties onderzoek verricht. Het belangrijkste nadeel van dit type sensoren is het feit dat ze slechts voor een beperkt aantal of zelfs maar voor één stof werkzaam zijn. Daarnaast wordt gewerkt aan kleurindicatoren (colorimetrie), waarbij kleurstoffen worden aangebracht in dunne lagen op een substraat. Onder invloed van verontreinigingen treden er kleurveranderingen op; de indicatie van doorslag. Dit type indicatoren is specifiek voor klassen van verbindingen, zoals alcoholen, zuren, esters enzovoort. Een andere benadering, ontwikkeld door TNO-PML, is het zogenaamde verdringingsprincipe. Daarbij wordt een karakteristieke stof verdrongen van een dragermateriaal die vervolgens wordt gedetecteerd door een specifieke sensor. Een belangrijk voordeel van dit principe is dat het voor een grote groep van verbindingen werkt en niet slechts voor één stof.

Zie voor dit onderwerp ook het hoofdstuk 'respiratoire bescherming'.

Ontwikkelingen binnen het Soldier Modernisation Programme (SMP)

In vele NATO landen lopen zogenaamde 'Soldier Modernisation' programma's waarin de ontwikkeling wordt nagestreefd van een modulair opgebouwd, geïntegreerd soldaatsysteem. Hierbij moet gedacht worden aan functionaliteiten als communicatie, wapensystemen, energievoorziening, ballistische en NBC-bescherming. In tegenstelling tot de meeste landen, waar minder aandacht is voor NBC-bescherming (althans binnen SMP), is in het Nederlandse programma uitvoerig gewerkt aan nieuwe filtervormen. Er is een nieuw concept filter bedacht en ontwikkeld. Het filter wordt niet meer bevestigd aan het masker, maar aan de helm van de militair. Het idee is om een dunne, gebogen filtervorm toe te passen die aansluit bij de vorm van de helm. Deze andere filtervorm stelt nieuwe eisen aan de toe te passen materialen, zoals het koolmateriaal ten behoeve van de bescherming tegen gassen en het aerosolfiltermateriaal voor de bescherming tegen vaste en vloeibare deeltjes. Eén van de belangrijkste aspecten hierbij is natuurlijk dat de beschermingscapaciteit van de nieuwe filtervorm nog steeds tegemoet moet kunnen komen aan de eisen. Daarnaast is het van belang om de luchtweerstand van het filter zoveel mogelijk te verlagen. Het eerste ontwerp van deze nieuwe filtervorm is geslaagd. Het is echter nog een aanzienlijke stap van concept naar praktijk, waarbij nog op moeilijkheden gestuit zou kunnen worden. Hierbij valt te denken aan de integratie van de verschillende materialen tot één geheel en het realiseren van een optimale

doorstroming van het filter. Het is echter een realistische verwachting dat dergelijke problemen oplosbaar zullen blijken te zijn.

De status van het project geïntegreerde hoofdbescherming is momenteel dat met diverse NATO-partners overleg wordt gevoerd of en zo ja welke onderdelen verder ontwikkeld zullen worden. Daarnaast wordt nagedacht over welke industriële firma's hierbij betrokken zullen worden. Een aantal landen heeft concrete belangstelling getoond om gezamenlijk, en in samenwerking met bepaalde firma's, onderdelen van de geïntegreerde helm verder te ontwikkelen.

Ontbrandingsrisico

Er is een zeker risico van ontbranding van actieve kool vastgesteld ten gevolge van blootstelling aan een hoge piekconcentratie, of sterk adsorberende dan wel reactieve chemicaliën. Dit risico, met name bij bepaalde TIC's, moet geheel geëlimineerd worden omdat de consequenties nogal ernstig kunnen zijn. Ofwel het vermijden van de condities die tot ontbranding leiden, ofwel de toepassing van niet-brandbare alternatieven voor actieve kool, kunnen dit probleem omzeilen. De toepassing van niet-brandbare adsorbentia in adembeschermende middelen is echter tot nu toe nog niet gerealiseerd. Recentelijk zijn er wel filters ontwikkeld waarbij een anorganische laag is toegepast, die gunstigere ontbrandingskarakteristieken lijkt te hebben en daardoor minder snel ontbrandt.

Modellering

De ontwikkeling van (sorptie) simulatiemodellen maakt een belangrijk deel uit van de werkzaamheden binnen het vakgebied luchtzuiveringsprocessen. Met de ontwikkeling van modellen wordt enerzijds getracht om het inzicht te vergroten in de mechanismen die in de processen een rol spelen, anderzijds kan een grotere diversiteit aan condities worden doorgerekend (voorspeld) dan experimenteel gemeten zou kunnen worden. Naast de modellering van het fysisorptieproces als zodanig, worden de volgende speerpunten onderkend.

– Vochtige condities/water

Modellering van het fysisorptieproces van een gegeven component onder vochtige condities is zeer relevant voor de toepassing van actieve kool in gasmaskerfilterbussen. Omdat er in de praktijk altijd een zekere mate van vocht in de lucht aanwezig is, is een juiste beschrijving van de filter prestaties onder vochtige condities noodzakelijk. Het is bekend dat de aanwezigheid van vocht in de lucht een substantiële invloed heeft op de beschermende werking van gasmaskers. Er zijn in wezen twee benaderingen: ontwikkeling van een geavanceerd model dat het fundamentele mechanisme van adsorptie van water beschrijft; dit is ingewikkeld en kost veel tijd; een tweede benadering is het opstellen van een eenvoudig model dat op een meer empirische manier het effect van vochtige condities op de doorbraak van filters verdisconteert.

– Chemisorptie

Lichte, vluchtige dampen zoals cyanides, perfluor verbindingen en verscheidene TIC's (bijvoorbeeld Ammoniak en chloor) worden afgevangen door middel van chemische (katalytische) reacties en complexering. Deze mechanismen worden samengevat onder de noemer chemisorptie. Het lastige van dit type verbindingen is dat elke stof zijn eigen specifieke mechanisme van afvangst heeft waardoor voor elke stof in beginsel een ander simulatiemodel geldt. Desalniettemin kunnen er generieke modellen worden opgesteld die voor meerdere stoffen geldig zijn. Het

chemisorptie-proces kan worden beschreven door uit te gaan van bijvoorbeeld voor wat betreft de instantane reactie; een eerste, tweede of 'n' de orde reactie in gasfase en voor wat betreft de concentratie: Langmuir-Hinshelwood type modellen waarin zowel adsorptie als reactie van belang zijn.

- De 'Chemical Incident Simulator' (CIS)
Het CIS project beoogt de ontwikkeling van een algeheel simulatiemodel, startend vanuit een dreigingsscenario (aanval of incident), via detectie, bescherming en blootstelling tot en met de uiteindelijke consequenties voor de soldaat ('minor effects', incapacitering en dood). Voor wat betreft het deel 'bescherming' van het CIS model, zijn het fysisorptie model alsmede de diverse modeluitbreidingen (water, chemisorptie) direct toepasbaar. Omdat binnen het CIS model duizenden scenario's uitgerekend dienen te kunnen worden, betekent dit dat de individuele modellen niet te complex kunnen zijn, en zonodig aangepast moeten worden voor dit specifieke doel.
- 'Computational Fluid Dynamics' (CFD)
Tot slot wordt gewerkt aan de modellering van luchtstromingen waarbij gebruik gemaakt wordt van Computational Fluid Dynamics (CFD). Dit is een rekenkundige techniek waarmee, onder andere, gas of vloeistofstroming dóór complexe structuren kan worden berekend. De toepassing is tweeledig: CFD als instrument voor ontwerpproblemen en CFD als instrument voor onderzoek.
CFD als ontwerp instrument geeft interessante mogelijkheden. Met name voor de toepassing van luchtstroming door filters voor adembescherming is dit interessant. Tot nu toe zijn enkele filterbussen en een gasmasker gesimuleerd met CFD. De kennis die is opgedaan met deze onderwerpen geven aan dat het mogelijk is om de vorm van maskers en filterbussen op stromingscondities te evalueren met behulp van een Computer Aided Design (CAD-)pakket. Dat betekent dat een filter of masker kan worden ontworpen en getest zonder eerst een (kostbaar) prototype te bouwen. Dit is toegepast voor aerosolfilters. Tevens is het mogelijk om adsorptie in CFD-modellen op te nemen zodat ook de functionaliteit van de filterbussen kan worden geïmplementeerd in de stromingsmodellen. Daarmee wordt het mogelijk om de koolbedden, in filterbussen van arbitraire vorm, te ontwerpen en testen voordat een prototype van de filterbus gemaakt wordt. De techniek is niet alleen toepasbaar voor eenvoudige gepakte bedden, maar ook voor nieuwe filterstructuren zoals, bijvoorbeeld, voor monolieten.
CFD als onderzoeks-instrument geeft inzicht in parameters die moeilijk meetbaar zijn. Met behulp van CFD zijn kleding modellen ontwikkeld welke inzicht geven in de penetratie en verspreiding van schadelijke stoffen door en onder kleding. Daarnaast is er met behulp van CFD een aerosolfiltratiemodel in ontwikkeling dat bruikbaar is voor arbitraire filtergeometrie. Dit is een vooruitgang ten opzichte van klassieke modellen die alleen adequaat werken voor een speciaal type filter.

Onderzoeksbehoeften

Samenvattend verdient het aanbeveling, vanuit de technologie luchtzuivering, aan de volgende aspecten verder te werken.

- Sorptie zal een essentieel proces blijven voor de bescherming tegen damp, vooral bij individuele bescherming. Verbeteringen blijven dus noodzakelijk. Om dit te bereiken moet het inzicht in deze processen vergroot worden. Modellering draagt hier in belangrijke mate aan bij.

- Alternatieve en nieuwe adsorbentia moeten worden onderzocht. Naast algemene karakteristieken als gewicht, volume en porie oppervlak zijn de volgende eigenschappen van belang: Luchtweerstand, hydrofobiciteit, impregnanten met veelzijdige functionaliteit (diverse TIC's). Ontwikkelingen op het gebied van nieuwe materialen zijn kooldoek, kooldraad, geïmmobiliseerde kolen, monolieten en nanotubes.
- De toepassing van kooldraden voor zowel de verwijdering van aerosolen als dampen is een interessante ontwikkeling.
- Alternatieve gasscheidingsmethoden, bij voorkeur regeneratief, zijn zeer wenselijk vanwege de logistieke voordelen en de gegarandeerde langere operatie tijd. P(T)SA is meer geschikt voor collectieve protectie, terwijl membraantechnologie mogelijk ook voor individuele protectie is in te zetten. Katalytische oxidatie is een ander proces dat nader onderzoek vraagt.
- Verdere integratie van soldaat systemen zoals tot uiting komt in SMP programma's dient te worden mogelijk gemaakt. Het is van belang om niet alleen communicatie, wapensystemen etc. maar ook NBC-bescherming flexibeler te kunnen integreren. Filters moeten bescherming bieden tegen een steeds grotere variëteit aan agentia, bij op z'n minst gelijkblijvende en liefst dalende belasting voor de gebruiker.
- Een doorbraakdetector, ofwel ESLI, blijft gewenst in elk type dampfilter met een beperkte capaciteit.
- Modelleren is een belangrijk stuk gereedschap dat verder ontwikkeld moet worden. Naast de modellering van het fysisorptieproces als zodanig, is de modellering van de invloed van water en van chemisorptie processen essentieel.
- CFD is een relevante techniek voor de modellering van luchtstromingen door complexe structuren. Hiermee kunnen luchtzuiveringsprocessen verder geoptimaliseerd worden. De modellering van de combinatie van stroming en adsorptie is een krachtig instrument om systemen te ontwikkelen en evalueren.

2 Respiratoire bescherming

2.1 Inleiding

Binnen de Nederlandse krijgsmacht zijn bij alle onderdelen individuele NBC-beschermende middelen in gebruik. Voor de adembescherming is er het in 1995-96 geïntroduceerde FM12-volgelaatsmasker (gefabriceerd door Avon). Daarnaast is er nog een NBC-kapje, dat langdurig gedragen kan worden in situaties met een verhoogd risico voor een gerichte aanval met vluchtige chemische strijdmiddelen. De Koninklijke Luchtmacht had in het verleden de beschikking over een aangeblazen adembeschermings systeem voor F16-piloten, maar dit is door de onlangs afgeronde 'Mid-Life-Update' van de F16 niet langer bruikbaar. Daarnaast zijn er geen specifieke individuele NBC-beschermende middelen voor de ademhaling in gebruik.

2.2 Huidige technologieën

Beschikbaarheid

Een belangrijke beperking van de huidige situatie is dat er voor een groot deel van de militairen, met name het vliegend personeel bij de Koninklijke Luchtmacht, geen geschikte adembeschermende middelen beschikbaar zijn. De KLu wordt steeds vaker uitgezonden in het kader van VN- en NAVO-missies. Juist bij dit soort 'Out of Area Operations' is BC-bescherming van het hoogste belang, omdat de kans op het zich voordoen van NBC-gerelateerde incidenten reeel wordt geacht. Van de eenheden van de Tactische Helikopter Groep kan bovendien verwacht worden dat zij worden ingezet om mensen te evacueren uit gebieden waar een BC- dreiging heerst (Search en Rescue en Medevac). Voor hen is een adequate BC-bescherming een voorwaarde om te kunnen opereren.

Maatvoering, gebruik en onderhoud

Een tweede probleem, dat intern de gehele krijgsmacht leeft, is dat er veel mis gaat bij het gebruik en het onderhoud van met name gasmaskers. Eerder TNO-onderzoek (rapport PML 2001-A11) heeft aangetoond dat een groot deel van de militairen (38% van de gemeten populatie) de verkeerde maat masker uitgereikt kreeg. Een juiste maatvoering is essentieel om het vereiste beschermingsniveau te kunnen bereiken. Voor 20% van de militairen bleek dan ook niet te worden voldaan aan de eis van een protectie-factor van 10.000 of hoger. Door verbeteringen aan te brengen in de manier van opzetten en de afstelling kon dit percentage tot 10% worden teruggebracht.

Lekkage tijdens gebruik

Een derde categorie 'huidige tekortkomingen' heeft te maken met het functioneren van de in gebruik zijnde adembeschermende middelen zelf. Dit is verre van ideaal. Hoewel de bescherming van een persoon gemeten in het laboratorium doorgaans adequaat is, is dit in de praktijk vaak niet het geval. De voornaamste oorzaak van matige functionaliteit is lekkage tussen masker en gelaat, die met name optreedt bij praten en bij inspannende activiteiten zoals bijvoorbeeld rennen en springen. Zweet speelt hierbij een rol, alsmede de extreme onderdruk die in het masker optreedt bij zware ademhaling. Alle details zijn hierover nog niet bekend, maar de drager van een gasmasker is niet continu verzekerd van adequate bescherming.

Levensduur

De verwachte levensduur van de gebruikte filterbussen is gebaseerd op scenario's, waarin vele aannamen over de potentiële dreiging (soort contaminant, vorm van verspreiding, concentratie, etc.) en klimatologische omstandigheden (wind, temperatuur, vochtigheid) zijn verwerkt. In de praktijk zullen deze factoren sterk variëren. Bovendien zijn de meeste ideeën over de levensduur van filters in militaire praktijkomstandigheden gebaseerd op het koude-oorlogscenario. Het is daarom niet mogelijk ten aanzien van het huidige wereldwijde optreden, op zeer uiteenlopende geweldsniveau's, vooraf de werkelijke levensduur van een filterbus in te schatten. Dit kan enerzijds leiden tot blootstelling aan toxische stoffen (wanneer de werkelijke levensduur korter is dan verwacht) en anderzijds tot onnodig hoge kosten (wanneer de filterbus vervangen wordt voordat de werkelijke levensduur bereikt is).

Bescherming versus functioneren

Een andere beperking in de huidige situatie komt voort uit de veranderingen op het gebied van de NBC-dreiging. We hebben niet langer te maken met een duidelijke vijand met bekende massavernietigings-wapens, maar eerder met NBC-incidenten, asymmetrische oorlogsvoering en terrorisme. Dit betekent dat er in toenemende mate rekening gehouden dient te worden met weliswaar kleinschalige maar gerichte, geconcentreerde aanvallen, met biologische wapens en met het vrijkomen van industriechemicaliën bij aanslagen op chemische installaties. Dit heeft uiteraard consequenties voor de eisen die aan de adembeschermende middelen gesteld dienen te worden. Voor de zogenaamde toxische industriechemicaliën (TIC's) zijn andere filterbussen nodig dan voor strijdgassen. De zogenaamde ABEK filterbus (aanduiding conform EN 141) biedt bescherming tegen een breed spectrum van stoffen, waaronder vluchtige koolwaterstoffen, zuren en basen. Nadeel is echter dat de ademweerstand veel hoger is dan de weerstand van een standaard NBC-filterbus, en de bus is ook zwaarder. Dit veroorzaakt weer een zwaardere fysieke belasting van de soldaat, hetgeen de prestatie negatief zal beïnvloeden. Sommige biologische agentia vragen een hogere beschermingsfactor dan chemische strijdgassen. Van de commercieel verkrijgbare adembeschermende middelen zijn momenteel alleen de aangedreven types (Powered Air Purifying Respirators ofwel PAPRs) en de 'onafhankelijke' types, met een eigen luchtvoorziening (Self Contained Breathing Apparatus ofwel SCBA), in staat om de vereiste bescherming te bieden. Feit blijft echter dat het adembeschermend middel, indien het meer bescherming biedt, tevens ook in toenemende mate een ergonomische, fysieke en psychische belasting vormt.

2.3 Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen

Beschikbaarheid

Op het gebied van beschikbaarheid dient gebruik te worden gemaakt van de stand der techniek. Het is bekend dat de aanschafdiensten van de krijgsmachtdelen (de Materieel Directies en de logistieke bedrijven) sinds eind jaren negentig, in het kader van de materieelverwerving, het vereiste prestatie-niveau van het materieel niet meer zelf definiëren. Aanschaf volgens COTS/MOTS is sedert dat moment beleidsmatig uitgangspunt, wat betekend dat de Krijgsmacht koopt wat de industrie aanbied. Wanneer er nieuwe adembeschermende middelen op de markt komen, dient dan wel overwogen te worden, of het wellicht zinvol is deze binnen de Nederlandse krijgsmacht toe te passen.

Zo is er momenteel een ontwikkeling gaande op het gebied van NBC-bescherming voor vliegtuigbemanningen, waarin de industrie (firma's Gentex, SD&E en anderen)

participeert samen met defensie-gerelateerde onderzoeksinstituten uit Duitsland en Canada. De Koninklijke Luchtmacht heeft zich bij dit programma aangesloten, ten einde ten volle van de ontwikkelingen te kunnen profiteren.

Maatvoering, gebruik en onderhoud

Om de problematiek rond (niet) passende maskers aan te pakken is het allereerst van belang dat de gebruiker een goed passend masker krijgt uitgereikt. Naast de bekende pasmaat kan men in de toekomst ook gebruik gaan maken van antropometrische hulpmiddelen. Zo is het mogelijk om met 3D-scan apparatuur exact de gezichtsmaten te bepalen, waarmee het mogelijk wordt de juiste maat masker te selecteren. Andersom kan de maak-industrie een database met de gezichtsmaten van vele personen gebruiken om de standaardmaten van een gasmasker te optimaliseren. Deze strategie werd al succesvol toegepast door TNO in het 'biokapje' project. Voor gebruik (afstellen; opzetten) en onderhoud (1^e en 5^e echelon) geldt dat er meer aandacht nodig is voor procedures en werkwijzen. Daarbij mag het menselijk aspect zeker niet vergeten worden: De gebruiker dient gemotiveerd te zijn om de juiste werkwijze te volgen.

Lekkage

Er blijkt behoefte aan meer feitelijke kennis inzake de daadwerkelijke bescherming die in de praktijk bereikt wordt (in 'battlefield conditions'). Om hierin meer inzicht te krijgen zou het bijvoorbeeld nuttig zijn een kleine sensor te hebben, die continu de beschermingsfactor meet. PML werkt, inmiddels samen met de UK en NO, hard aan de ontwikkeling van een 'protectie factor te veld' systeem, dat gebruik maakt van de bekende 'Portacounts'. Nu reeds wordt in het kader van veld-experimenten een ongekende schat aan unieke informatie verzameld over de daadwerkelijke bescherming van het FM12 in militair relevante scenario's. Het is de verwachting dat dit systeem binnen enkele jaren dermate betrouwbaar, robuust en geminiaturiseerd zal zijn dat het kan worden ingevoerd op een laag operationeel niveau (compagnie?) bij alle krijgsmachtdelen.

Daarnaast dient er aandacht te zijn voor de contaminanten: zijn de met simulanten uitgevoerde labtesten wel representatief voor de praktijk?

Ook de adembeschermende middelen zelf zijn nog verre van ideaal. Dit is ook onderkend door gasmaskerfabrikant Avon, die momenteel samen met DSTL, in opdracht van het UK.MoD, werkt aan de ontwikkeling van een 'dual cavity respirator'. Parallel hieraan is er bij het TNO-PML vanaf 2003 onderzoek gaande, gericht op het verbeteren van de barrierefunctie van het masker. Daarbij wordt onder andere gekeken naar aangedreven systemen (Powered Air Purifying Respirator; PAPR), zogenaamde 'neck seals', naar maskers met een dubbele afdichting. Het is tot slot nog wenselijk tevens naar alternatieve materialen te kijken.

Levensduur

Nog steeds zijn het meestal actieve-koolfilters die worden toegepast in gasmaskerfilterbussen, in filters voor voer-, vlieg- en vaartuigen, voor collectieve schuilplaatsen, voor luchtfilterinstallaties in gebouwen en woningen en in de industrie voor zuivering van afvalstromen. Vanwege de eindige capaciteit van actieve kool hebben deze klassieke koolfilters een beperkte levensduur. De gebruiker verkeert in onzekerheid over de mate van verzadiging van het filter en het tijdstip waarop de filters moeten worden vervangen. Nieuwe sensoren zijn nodig om betrouwbaar de werkelijke levensduur van een filterbus in te kunnen schatten, onafhankelijk van blootstelling (soort contaminant, vorm van verspreiding, concentratie, etc.) en klimatologische omstandigheden (wind, temperatuur, vochtigheid). Een detector achter het filter kan

worden gebruikt om de gebruiker te waarschuwen voor de verzadiging van het filter. Dergelijke 'End of Service Life Indicators' (ESLI) zijn in ontwikkeling bij diverse internationale onderzoeksinstanties, met name in Duitsland en in de VS. Ook binnen het TNO-PML zijn er inspanningen gaande om een dergelijke sensor te ontwikkelen. Aan TNO-PML is patent verleend voor een doorslagdetector die gebaseerd is op het principe dat door verzadiging van het filter een bepaalde component (signaalstof) wordt verdrongen van de actieve kool. Deze component wordt vervolgens gedetecteerd door een specifieke sensor. Met dit principe als uitgangspunt is en wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een speciaal adsorbens dat de signaalstof bevat. Belangrijke karakteristieken van de combinatie adsorbens-signaalstof zijn: bestendigheid tegen vocht; voorkeur voor een sterk hydrofoob materiaal, temperatuur resistentie en een lange termijn stabiliteit vanwege opslag. De voordelen van een ESLI zijn evident: verlaging van de filter vervangingsfrequentie, inclusief de daaraan gekoppelde kosten, en een verbeterd vertrouwen bij de gebruiker.

Los van de sensor zelf kan men zich afvragen hoe de informatie aangeboden dient te worden: Is het voldoende om een verkleurende strip aan de buitenzijde van een filterbus te plaatsen? Wellicht dat een optisch of acoustisch alarm wenselijk is. En hoe reageert een gebruiker op zo'n alarm als hij zich in een parkijksituatie bevindt? Terwijl momenteel de eerste systemen beschikbaar komen, zijn er tevens nog tal van onderzoeksbehoeften.

Bescherming versus functioneren

Een separate onderzoeksbehoefte richt zich op het optimaliseren van bescherming aan de ene kant en prestatie aan de andere kant. Met het toenemen van de eisen op het gebied van protectie, komen comfort en functioneren van de gebruiker steeds meer in het gedrang. Dit zal in sterkere mate een rol spelen onder extreme condities; inspanning, stress, hoge omgevingstemperatuur en hoge relatieve vochtigheid. Het is een uitdaging om persoonlijke beschermingsmiddelen zo te maken dat ze een adequate barriere vormen tussen de gebruiker en zijn omgeving, zonder dat het functioneren erdoor belemmerd wordt. Het integreren van systemen, zoals bijvoorbeeld in de 'integrated head protection', ontwikkeld in het kader van het 'Soldier Modernisation Program', kan een manier zijn om de ergonomische, fysieke en psychologische belasting te verlagen. Op dit gebied wordt intensief samengewerkt met de collega's van TNO Technische Menskunde (TNO-TM) en het TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium (TNO-FEL), die veel expertise kunnen inbrengen.

3 Bescherming tegen aerosolen

3.1 Inleiding

Er is aanleiding een apart hoofdstuk te wijden aan de bescherming tegen aerosolen. Er is het laatste decennium meer bekend geworden over de dreiging die uitgaat van zowel biologische strijdmiddelen alsmede van chemische strijdmiddelen in aerosolvorm. Daartegenover staat het groeiende inzicht dat adequate bescherming tegen aerosolen specifieke eisen stelt aan de kwaliteit en de kwantiteit van bescherming. Eisen die niet vanzelfsprekend tegemoet worden gekomen binnen het kader van de maatregelen voor de gas- en vloeistofbescherming.

De aerosolen waartegen de krijgsmacht beschermd dient te worden kunnen bestaan uit:

- druppels chemisch strijdmiddel zoals VX (zie verder onder huidbescherming);
- bio-agentia zoals toxines, bacteriën of virussen;
- dusty agents; dragers van fijn stof zoals silica waarop andere strijdmiddelen geadsorbeerd zijn.

3.2 Huidige technologieën; beperkingen

De adembescherming tegen aerosolen wordt geboden door een FM12-gasmasker met een filterbus waarin een glasvezelfilter de aerosolen uit de lucht filtert. De huidbescherming wordt geboden door een NBC-pak waarin een laag kool verwerkt is om de damp van chemische strijdmiddelen af te vangen. Deze afvangstlaag is echter alleen bedoeld voor gas en damp en ze laat aerosolen in hoge mate, afhankelijk van de openheid van het weefsel, door. Een afdoende oplossing zou bestaan uit het gebruik van impermeabele lagen, met alle consequenties voor de thermofysiologische belasting van dien.

Het deeltjesfilter in de filterbus heeft, in overeenstemming met de NATO-eisen, een maximale penetratie van 3×10^{-3} bij een ademdebiet van 30 L/min. De maximaal toegestane lekkage langs het gelaat en door andere maskeronderdelen is van dezelfde orde. Vanwege de extreem hoge infectiviteit per gewichtseenheid van bepaalde bacteriën en virussen is die waarde recent verhoogd. Het betekent een technologische uitdaging aan deze inmiddels door de NAVO geformaliseerde eis tegemoet te komen middels nieuwe filters of filtertechnologieën.

Naast persoonlijke beschermingsmiddelen die ieder individu afzonderlijk beschermen worden tijdelijke en/of tactische onderkomens, zoals gevechtsvoertuigen, commandoposten en dergelijke, collectief beschermd met behulp van grote filters die een luchtstroom van meerdere kubieke meters per minuut kunnen verwerken. De bescherming van dergelijke ColPro-eenheden wordt apart besproken.

3.3 Ontwikkelingen op het gebied van dreiging

Bio-aerosolen

Door genetische manipulatie kan de lethale dosis worden verlaagd zodat de vereiste protectiefactor stijgt. Het valt buiten het bestek van dit rapport om aan te geven of er landen of groepen/organisaties zijn die dergelijke offensieve ontwikkelings initiatieven ontplooiën. Het dient wel te worden vermeld dat een en ander technologisch haalbaar is en dat de benodigde technologie voor steeds meer partijen bereikbaar wordt. Zo kan de 'decay rate' van bio-aerosolen (het onschadelijk worden onder invloed van zon,

temperatuur en andere factoren in de loop van de tijd) met vrij simpele middelen en technieken sterk worden verbeterd. Deze technieken, zoals micro-encapsulatie en toevoeging van stijfselachtige chemicaliën aan de te versproeien kweek, zijn in de open literatuur te vinden. Dit beïnvloedt sterk de benodigde protectiefactor en de omvang van het gebied waarin bescherming (eventueel van een lagere orde) nodig is. Ook de noodzaak tot decontaminatie wordt bij langere levensduur van biologische strijdmiddelen van groeiend belang.

Verbeterde disseminatietechnieken, waarbij kleinere deeltjes kunnen worden verspreid zonder aan virulentie in te boeten, kunnen de eisen die gesteld worden aan filter en gasmasker in de toekomst nog verder opschroeven.

Tenslotte kunnen bio-aërosolen zo gemanipuleerd worden dat ze ook door (intacte) huid kunnen heendringen.

Chemische aërosolen

Er worden vrij regelmatig nieuwe, giftiger en moeilijker tegen te houden materialen bekend. De mogelijke ontwikkeling van dusty agents (Aerosil) met een lading van chemische strijdmiddelen die door de huidige permeabele NBC-kleding kunnen heendringen baart zorgen. De aërosolpenetratie door pakken heeft tot nu toe weinig aandacht gekregen, in tegenstelling tot de problematiek rond adembescherming. In het recente verleden werd verondersteld dat Irak dergelijke wapens tot zijn beschikking zou kunnen hebben.

3.4 Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen

Op basis van de beschreven ontwikkelingen in de dreiging kunnen we algemene onderzoeksonderwerpen identificeren die nodig zijn om die ontwikkelingen voor te blijven.

- Verbeterde materialen en filters: niet alleen nieuwe materialen (zoals elektreten) maar ook alternatieve filtertechnieken zoals UV-straling, elektrische oplading van de deeltjes, biocide filters enz.
- Betere meetmethoden om de hogere filterefficiëncies onder strengere omstandigheden te kunnen bepalen en om bijvoorbeeld de biocide werking te kunnen quantificeren. De testen moeten ook effectiviteit in het veld garanderen.
- Meetmethoden om de bescherming geboden door kleding tegen aërosolen te bepalen.
- Het verzamelen van data om beslissingen, over de te nemen maatregelen bij aanvallen, op te kunnen baseren.

Voor de verdere invulling van deze onderwerpen zijn internationaal problemen en kennisgaten geïdentificeerd, bijvoorbeeld tijdens de ISRP, TOE-meetings en LTSS. Daarnaast is eigen ervaring en het niveau van de faciliteiten en kennis op het TNO-PML van belang voor de praktische invulling: bij het testen van persoonlijke adembeschermende middelen loopt het TNO-PML mee in de voorste gelederen en kan aan de echte kennisgaten gewerkt worden, terwijl op het gebied van kledingtesten het opzetten van testen en verkrijgen van informatie van derden met ervaring op dit gebied prioriteit heeft.

4 Beschermende kleding

4.1 Inleiding

Defensie hanteert de eisen en testmethoden van de NATO voor NBC-beschermende kleding. In de NATO-documenten wordt beschreven in welke mate de kleding bescherming moet bieden tegen chemische strijdmiddelen (damp, vloeistof en aerosolen), biologische strijdmiddelen (aerosolen) en toxische industriechemicaliën (TIC's). Tevens wordt bescherming tegen vlammen en tegen de hitteflits van een nucleaire explosie omschreven.

4.2 Huidige technologieën; beperkingen en problemen

De Nederlandse Krijgsmacht heeft op dit moment twee typen NBC-kleding in gebruik: Het zogenaamde 'Out of Area'-pak en het pak 'M2000'. In 1996 heeft de aanschaf plaatsgevonden van het 'Out of Area'-pak, specifiek om gebruikt te worden voor mogelijke uitzending naar warme klimaten. In 2001 is het M2000-pak aangeschaft, ter vervanging van de uit de jaren tachtig stammende M78- en M82-kleding.

Al deze kleding is gemaakt van koolstofbevattend, luchtdoorlatend materiaal. Dit soort materialen wordt traditioneel het meest toegepast in militaire NBC-pakken. De materialen bestaan uit een meerlagensysteem: een textiele buitenlaag met een vloeistofwerende en vlamvertragende finish gecombineerd met een dampafvangende binnenlaag met actieve kool. De belangrijkste functie van de buitenlaag, die ook nog hitteflitsbestendig moet zijn, is het voorkómen van direct contact tussen vloeibaar (druppels) chemisch strijdmiddel en de dampafvangende koollaag. Daarnaast heeft de buitenlaag een filtratiecapaciteit tegenover (bio-) aerosolen.

Tevens beschikt de Krijgsmacht over overhandschoenen en overlaarzen van butylrubber. Tenslotte is er de (verouderde) NBC-ontsmetterskleding; specifiek bestemd voor gebruik tijdens ontsmettingswerkzaamheden.

Deze kledingstukken zijn alle gemaakt van luchtimpermeabel materiaal. Dit soort materialen wordt algemeen toegepast wanneer er een groot risico van vloeistofbelasting bestaat, al dan niet onder druk. Dit is het geval bij de bescherming van handen en voeten en bij speciale werkzaamheden, zoals NBC-ontsmetting.

Bescherming; de materialen

Bij de huidige, in de vigerende NATO-documenten geformaliseerde, beschermingscriteria voor huidblootstelling aan chemische strijdmiddelen bieden de traditioneel gebruikte luchtdoorlatende materialen in het algemeen voldoende bescherming tegen damp en kleine druppels (1 mg) van chemische strijdmiddelen. De bescherming tegen grotere druppels (30 mg) is echter beperkt. De beschermingsduur is, bij een dergelijke belasting, doorgaans minder dan 6 uur. Bij het uitoefenen van druk op de druppels kan de beschermingsduur nog korter worden. Recentelijk hebben NATO-fora geadviseerd de toegestane blootstellingsniveau's voor de huid te verlagen (NAAG.LG/7.WG.1 en RTO.SAS-panel.LTSS-024). Daardoor zal de formele beschermingsduur van de huidige materialen omlaag gaan.

De momenteel gebruikte luchtdoorlatende NBC-kledingmaterialen zijn niet ontworpen voor bescherming tegen aerosolen, noch tegen TIC's. Weliswaar wordt een beperkte bescherming tegen aerosolen geboden, door de filtratiecapaciteit van de buitenlaag, maar de filtratie-efficiëntie is afhankelijk van diverse factoren; zoals de lucht-

doorlaatbaarheid van het materiaal en de deeltjesgrootte van het aerosol. De depositie op de huid onder de kleding is eveneens afhankelijk van de deeltjesgrootte van het aerosol. Gezondheidsrisico's zijn, zeker in het geval van een kapotte of geïrriteerde huid bij blootstelling aan biologische aerosolen, niet uit te sluiten. Om dit risico beter te kwantificeren is nader onderzoek noodzakelijk naar de beschermende werking van NBC-kleding tegen aerosolen enerzijds en de infectiviteit van bio-aerosolen voor de huid anderzijds.

Aangenomen wordt dat de huidige materialen voldoende bescherming bieden tegen aerosolen van de chemische strijdmiddelen. Of dat in de praktijk ook het geval is, is niet bekend. In welke mate in het geval van TIC's een probleem bestaat hangt af van de fysische eigenschappen van de verbinding en de percutane toxiciteit van de betreffende stof. Hierover is nog weinig bekend. Nader onderzoek naar de dreiging van TIC's en het beschermingsniveau van NBC-beschermende kledingmaterialen voor deze stoffen aan de hand van een evaluatie is nodig.

De huidige luchtimpermeabele materialen daarentegen, bieden voldoende bescherming tegen chemische en biologische strijdmiddelen. De beschermende werking tegen TIC's varieert. Deze hangt af van de fysische eigenschappen van de verbinding in combinatie met de aard van het materiaal. Bovendien bestaat er een ruime spreiding in de percutane toxiciteit, binnen deze categorie stoffen.

Bescherming; het kledingsysteem (design, naden, aansluitingen)

De mate van bescherming die wordt geboden door een compleet kledingsysteem (pak plus hand en voetbescherming, inclusief de aansluiting op het masker) wordt niet alleen bepaald uit de materiaaleigenschappen van de componenten alleen. Leckage door naden, sluitingen en interfaces met andere kleding- en uitrustingsstukken (masker, handschoenen en laarzen, maar ook helm, scherfvest en rugzak) kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan de penetratie van toxische stoffen door het kledingsysteem. Factoren zoals lichaamsbeweging en wind kunnen de problemen nog versterken. Design, maatvoering en compatibiliteit zijn dan ook belangrijke parameters die de uiteindelijke prestaties van het pak in de praktijk beïnvloeden. Ten aanzien van deze aspecten zijn nog aanzienlijke verbeteringen mogelijk.

Thermische en fysieke belasting

De thermische en fysieke belasting die het gebruik van de huidige NBC-kleding veroorzaakt is hoog. De kleding is in het algemeen zwaar en weinig flexibel. Bovendien veroorzaakt het beperkte warmte- en vochttransport door de kleding, vooral in situaties met hoge temperatuur, hoge relatieve vochtigheid en een hoog inspanningsniveau, tot een beperking van de draagtijd. Oplossingen hiervoor kunnen worden gevonden zowel in de ontwikkeling van nieuwe materialen, als in de introductie van nieuwe concepten. Het dragen van handschoenen kan een adequate taakuitvoering bemoeilijken omdat de beweeglijkheid van de handen en tevens het gevoel in de vingers wordt gehinderd door de rubberlaag. Het dragen van overlaarzen kan de beweeglijkheid van de drager beperken. Ook de accumulatie van zweet is een probleem zijn bij het dragen van rubber hand- en voetbescherming.

4.3 Testmethodologie

Testmethoden, voor de karakterisering en evaluatie van de beschermende werking van NBC-kleding, dienen zo betrouwbaar mogelijk de bescherming die in een actuele situatie geboden wordt te kunnen voorspellen.

Materiaaltesten

TNO-PML beschikt over een breed scala aan testmethoden, waarmee de bescherming door NBC-kledingmaterialen tegen chemische strijdmiddelen kan worden bepaald. Regelmatig dienen de methoden getoetst te worden aan nieuwe inzichten in de diverse dreigingen en aan de stand van de techniek. De afgelopen jaren zijn daarom diverse testmethoden gemoderniseerd, met als uitgangspunt de NATO richtlijnen voor NBC-beschermende kleding; de zogenaamde kleding-triptiek. Ten aanzien van de vloeistoftest zijn nog verbeteringen gaande. Ook ontbreekt nog een geschikte methode om de kwaliteit van naden en sluitingen op materiaalniveau te meten. De dreiging van bio-aërosolen en TIC's heeft de laatste jaren meer aandacht gekregen. Faciliteiten voor het kunnen genereren en testen van de bescherming tegen (bio-) aërosolen, zijn in ontwikkeling. Voor het meten van de bescherming tegen TIC's kan gebruik gemaakt worden van civiele normen, zoals uitgegeven door de International Organization for Standardization (ISO).

Whole system testen

Om de prestaties van een compleet beschermend kledingsysteem te testen wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een whole system-test voor de evaluatie van complete kledingsystemen. De testen worden uitgevoerd met behulp van een mannequin die in een testkamer in een frame een loopbeweging uitvoert. De mannequin, met NBC-uitrusting, wordt in de testkamer blootgesteld aan een simulant voor chemische strijdmiddelen in dampvorm. Momenteel wordt gewerkt aan de validering van deze testfaciliteit waarin de experimentele condities zoals windprofiel en temperatuur, beter gedefinieerd zijn. Verdere ontwikkeling van de testmethode is van essentieel belang om tot een betrouwbare meetmethode voor de prestaties van beschermende kleding te komen.

4.4 Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen

Nieuwe materialen

Door middel van de ontwikkeling van nieuwe materialen kunnen de komende jaren verbeteringen worden verwacht, zowel op het gebied van bescherming als draagbaarheid. Dit kan door optimalisering van de huidige koolbevattende materialen. Maar ook via de verdere ontwikkeling van lichtgewicht, selectief permeabele membranen die bescherming bieden tegen de penetratie van vloeistof en aërosolen, maar permeabel zijn voor waterdamp; zodat transpiratievocht kan worden afgevoerd. Bovendien kunnen nieuwe ontwikkelingen in 'material science' en nanotechnologie leiden tot intelligente polymeren en textiele materialen, waardoor bijvoorbeeld zelfontsmettende materialen tot de mogelijkheden behoren. Dit geldt dan zowel voor chemische als biologische strijdmiddelen.

Het verzamelen, vastleggen en uitlezen van informatie over de beschermende eigenschappen van NBC-kledingmaterialen wordt in toenemende mate van belang geacht. Dit kan gebeuren door het volgen van de ontwikkelingen van de markt op het gebied van nieuwe beschermende materialen, van sensortechnologie en de integratiemogelijkheden van beide technologieën.

Nieuwe concepten.

Op het ogenblik worden internationaal diverse initiatieven genomen om te komen tot research en ontwikkelingsprojecten voor het CB-pak van de toekomst.

Binnen het Soldier Modernisation Programme (SMP) is in Nederland het afgelopen decennium gewerkt aan de integratie van NBC-bescherming in functionele militaire

gevechtsskleding. Een eerste prototype van het pak (Geïntegreerde Totaal Bescherming; GTB) kwam medio 2003 gereed. De beschermende eigenschappen en het comfort van dit prototype moeten nog onderzocht worden. Ook moet nog de verenigbaarheid met de overige uitrustingsstukken van de gevechtssoldaat onderzocht worden. Hierin kan een belangrijke inbreng komen vanuit internationale samenwerkingsverbanden.

In 2002 is het project 'CB^{plus}'; Protective Combat Uniform' van start gegaan. Het doel van het project is de ontwikkeling van een demonstratiemodel van een gevechtspak dat bescherming biedt tegen chemische, biologische en toxische industriechemicaliën en tegelijk een lage fysieke belasting kent. De trekker van dit project is het Ministerie van Defensie in Canada (DRDC). Er wordt samengewerkt met Nederland (TNO-PML) en Zweden (FOI), in het kader van een Defensie-MOU. In dit project zullen, in samenwerking met de CA- en US-industrie, nieuwe materialen, nieuwe sluitingen en nieuwe pakken in drie opeenvolgende fasen worden ontwikkeld en geëvalueerd. Er zal worden uitgegaan van realistische dreigingsscenario's waarop nieuwe beschermings criteria zullen worden gedefinieerd. Voor de evaluatie worden zowel materiaaltesten als whole system-testen toegepast. Uiteindelijk zal dan ook een vergelijking kunnen worden gemaakt tussen de resultaten van materiaaltesten, mannequintesten en testen met proefpersonen.

In het kader van West-Europese samenwerking wordt gewerkt aan het opstarten van een project voor de ontwikkeling van nieuwe materialen en concepten voor NBC-beschermende kleding: *'Novel materials and concepts for low burden NBC-protective clothing systems'* (West European Armaments Group, Common European Priority Area 13, Chemical and Biological Defense Technology). Het zal de volgende aspecten omvatten: een dreigingsanalyse, selectie en evaluatie van materialen en ontwikkeling en evaluatie van concepten, met daarbij aandacht voor de integratie met andere uitrustingsstukken. Samenwerking met de industrie en informatie-uitwisseling tussen de diverse landen staan hierbij centraal.

De expertise voor onderzoek naar nieuwe concepten ter verbetering van hand- en voetbescherming op het gebied van comfort en beperkingen in mobiliteit ligt bij TNO Technische Menskunde.

Materiaaltesten

Bij de ontwikkeling van materiaaltesten hebben de volgende aspecten prioriteit.

- De huidige vloeistoftest voldoet op een aantal punten nog niet aan de gestelde eisen, met name voor het testen van 'nieuwe' materialen zoals semi-permeabele membranen. De instelbaarheid en conditionering van de klimatologische condities moet worden verbeterd. Tevens moet de opstelling geschikt zijn om van het materiaal afdampend chemisch strijdmiddel te detecteren.
- De besmettingsmethoden voor gevallen druppels zijn verouderd en een ander druppelvormingssysteem is noodzakelijk, zodat een besmetting van meerdere gevallen druppels op het kledingmateriaal mogelijk is.
- Met de huidige testopstellingen kan de kwaliteit van zomen, naden en sluitingen niet goed worden onderzocht. Het is dan ook nodig hiervoor een aparte opstelling op materiaalniveau te ontwikkelen.
- Testmethoden voor het meten van penetratie van (bio-)aërosolen door kleding dienen te worden ontwikkeld.

Als gevolg van het beschikbaar komen van resultaten van de 'whole system' testen, kan een vergelijking worden gemaakt tussen de resultaten van materiaaltesten en 'whole system' testen. Dit kan leiden tot aanpassing van de materiaaltestmethodes.

'Whole system' testen

Bij de ontwikkeling van de 'whole system' test (WST) hebben de volgende aspecten de prioriteit:

- On-line meting onder de kleding
De huidige bemonsteringsmethode om de hoeveelheid toxische stof onder de kleding te bepalen maakt gebruik van een passief adsorbent dat na een blootstellingsexperiment wordt geëxtraheerd en geanalyseerd. Slechts de cumulatieve, gedurende de duur van het experiment gepenetreerde, massa wordt bepaald. Door middel van 'on-line' meting onder de kleding, kan de concentratie als functie van de tijd worden bepaald; hetgeen veel meer informatie over de beschermende eigenschappen van het pak oplevert.
- Besmettingsmethoden
Naast de huidige besmettingsmethode voor damp dienen besmettingsmethoden voor vloeibare chemische strijdmiddelen en (bio-)aërosolen ontwikkeld te worden. Vanwege de veiligheid dienen hiervoor geschikte simulandia beschikbaar te zijn.
- Design van de mannequin
De huidige mannequin kent een aantal beperkingen. De mannequin kan alleen een loopbeweging maken. Om het effect van andere bewegingen te verkennen dient een mannequin ontwikkeld te worden die andere, relevante en representatieve bewegingen kan uitvoeren. Ook de bevestiging van de mannequin aan het bewegingsframe moet verbeterd worden, zodat dit geen effect heeft op de kleding en het gasmasker. Andere aspecten voor verbetering zijn de maatvoering van de mannequin en het materiaal van het oppervlak.
- Vergelijking testmethoden
Op basis van het beschikbaar komen van resultaten van WST met menselijke proefpersonen, kan een vergelijking worden gemaakt tussen de testresultaten van mens- en mannequintesten. Dit kan leiden tot aanpassingen van de WST methodes.

Modelleren (computersimulaties)

In welke mate de resultaten van de testen van materialen en totale systemen een juiste voorspelling geven van de prestaties van de effectiviteit van de NBC-beschermende kleding in actuele veldsituaties is niet precies bekend. Het gebruik van experimentele programma's om de bescherming in allerlei scenario's (dreiging, klimatologische parameters) te onderzoeken is kostbaar en tijdrovend. Daarom is het van belang om meer fundamentele kennis te verkrijgen van de processen die de beschermende werking van kleding bepalen. Dit kan door het ontwikkelen van mathematische en fysische simulatiemodellen die de processen vanaf de dreiging aan de buitenzijde van beschermende kleding en de concentratie onder de kleding tot op de depositie op de huid beschrijven. Na validatie van de modellen kunnen deze worden gebruikt voor de evaluatie van de beschermende kleding onder diverse condities en kunnen kritische parameters met betrekking tot de bescherming worden bepaald. Bovendien kan met behulp van de resultaten van simulaties, het ontwerp van de kleding worden verbeterd. De modelontwikkeling vindt plaats op drie niveau's: kledingmateriaal; 'cilinder' als model voor een gekleed lichaamsdeel en 'whole system' in de vorm van een mens gekleed in NBC-kleding. De modellering van het stromingspatroon door en onder de kleding bij (bewegende) personen, is complex en vereist kennis van 'Computational Fluid Dynamics' (CFD). De modelontwikkelingen vindt plaats in samenwerking met de TU Delft. Het is van belang dat deze modellen verder ontwikkeld en gevalideerd worden.

5 Collectieve bescherming

5.1 Inleiding

De huidige middelen voor de collectieve bescherming tegen nucleaire, biologische en chemische strijdmiddelen, ofwel ColPro, bestaat in het algemeen uit drie onderdelen. Ten eerste is er een luchtzuiveringseenheid benodigd, al dan niet gecombineerd met luchtbehandeling (airconditioning). Daarnaast hebben we te maken met het onderkomen zelf, en tenslotte de entree, waardoor men het onderkomen binnentreedt.

Voor de entree geldt dat bij mobiele platforms, uitgezonderd schepen, de entree vaak ontbreekt. ColPro is gedefinieerd als een ruimte waarin veilig verbleven kan worden ten tijde van dreiging of een daadwerkelijk aanval met NBC-middelen, zonder dat daarbij gebruikt gemaakt hoeft te worden van persoonlijke beschermingsmiddelen. ColPro is gericht op verschillende toepassingen waarbij het dragen van individuele bescherming het uitvoeren van de taak of de functionaliteit ernstig belemmerd of zelfs onmogelijk maakt zoals:

- medische behandeling;
- command and control (overleg);
- technische handelingen (reparaties);
- 'Rest and Relief'; het scheren, wassen en plegen van sanitaire handelingen die anders als noodhandeling zouden moeten worden uitgevoerd, aangevuld met slapen of rusten.

5.2 Huidige technologie en uitrusting

Nederland beschikt op een groot aantal plaatsen binnen de krijgsmacht over collectieve bescherming tegen NBC-strijdmiddelen (ColPro), waarvan de meeste genoemd zijn in tabel 1.

Tabel 1 Verschillende vormen van collectieve bescherming aanwezig in Nederland.

CO	KL	KM	Klu
Commandocentra	ICS	Fregatten	Vliegbasis
MOGOS	MLRS		Containers
Patriot	Leopard		
	Overige voertuigen		

In deze opsomming is het Multi Launch Rocket System (MLRS) een bijzonderheid omdat de ColPro hier ook bedoeld is om te beschermen tegen de schadelijke stoffen die vrijkomen bij het afschieten van de eigen MLRS-raketten. Bij de Patriot luchtafweer is dit minder het geval. Naast de zogenaamde 'fixed' systemen zoals vliegbases en commandocentra, is er ook een aantal mobiele platforms uitgerust met ColPro. Voor de rijdende platforms, waaronder de Leopard tank, geldt dat er geen entree mogelijk is ten tijde van het operationeel zijn van de ColPro. Opmerkelijk is dat dit ook geldt voor MOGOS, een aaneengeschakeld 'container dorp', bedoeld voor medisch (be)handelen onder NBC-omstandigheden en uitgerust met hoogwaardige operatiekamers. Voor MOGOS geldt overigens dat de effectiviteit van de NBC-bescherming nog nimmer is getoetst. MOGOS is bedoeld om in te zetten in 'role 3'; het logistieke centrum in het achterland, en in mindere mate 'role 2'. Voor 'role 1', dicht bij het front, is er momenteel geen ColPro beschikbaar voor patiënten. Daarnaast geldt bovendien dat in

het geval van een dreiging of een aanval met NBC-middelen er in 'role 2' en 3 geen patiënten opgenomen kunnen worden. Daarbij is vervoer van patiënten overigens onmogelijk vanwege het ontbreken van gewondenhoes en kap.



Figuur 1 Het recent aangekochte Improvised ColPro System (ICS) bestaande uit een doorzichtige tent (midden), een luchtsluis (inzet links) en een filterunit (inzet rechts).

Recentelijk zijn er twee ColPro-systemen aangekocht. De eerste, de geïmproviseerde collectieve bescherming (ICS: geïmproviseerd ColPro System), is een systeem dat bestaat uit een doorzichtige liner met luchtsluis en bijbehorende filterunit, zie ook figuur 1. Het systeem is vooral bedoeld om ervaring op te doen met transporteerbare systemen en kan gebruikt worden voor 'Command and Rest and Relief'-toepassingen. Hierbij kan worden opgemerkt dat het aantal beschikbare systemen erg beperkt is en dat enige aanpassingen danwel extra voorzieningen nodig zijn. Het tweede systeem, containers voor de Luchtmacht, is van uitklapbare wanden voorzien. Deze toepassing is gericht op 'Command and Control'.

5.3 Nieuwe technologieën; trends en onderzoekslijnen

Voor al de hierboven beschreven systemen geldt zonder uitzondering dat ze primair gericht zijn op de bescherming tegen chemische en in mindere mate tegen nucleaire strijdmiddelen. Bescherming tegen biologische agentia of toxische industrie chemicaliën (TIC's¹) is niet of nauwelijks aan de orde. Voor de bescherming tegen biologische agentia geldt natuurlijk wel dat het in de luchtzuiveringsunit aanwezige filter ook de nodige bescherming biedt tegen biologische strijdmiddelen. Entree procedures, waarbij de ColPro vanzelfsprekend geopend moet worden, zijn hierin echter niet voorzien.

Voor het gros van de bestaande faciliteiten geldt dat ze gericht zijn op gebruik in een oorlog in Europa en niet in vredesmissies. Vredesmissies vereisen mobiele, snel opzetbare en dus lichtgewicht systemen teneinde de druk op de logistieke keten tot een minimum te beperken. Waarbij ook gedacht moet worden aan een laag energieverbruik. Dergelijke systemen zijn niet 'commercial of the shelf' (Cots)

¹ Opmerkelijk is dat volgens de huidige NATO-definitie TIC's vallen onder de definitie van NBC, praktisch is dit niet het geval.

beschikbaar. Hierin kan slechts een actief aanschafbeleid waarin ontwikkeling, testen en modificeren een rol kunnen spelen tegemoet komen.

De nieuwe vorm van optreden, maar ook de veranderde dreiging, resulteert in de volgende onderzoeksbehoefte:

- optimale beschermingsmogelijkheden ook tegen bio en TIC's;
- minimalisering van de logistieke last;
- specialisering;
- leefbaarheid.

Overigens geldt voor al deze vier onderwerpen dat onderzoek zich met name moet richten op transporteerbare systemen, waarbij waar nodig andere ColPro-vormen van afgeleid kunnen worden.

Optimale bescherming

Adequate bescherming tegen biologische agentia vereist inzicht in de mate waarin en de manier waarop biologische agentia meegenomen (getransporteerd) en opnieuw verspreid kunnen worden (reaërosolisatie), als gevolg van het gebruik van de entree. Ook de manier waarop biologische agentia verwijderd danwel onschadelijk kunnen worden gemaakt, dient bestudeerd te worden. Daarbij dienen ook de filters verbeterd te worden.

Momenteel is de entree erg tijdrovend. Er zijn methodes noodzakelijk (doctrine/technologie) die deze entreetijd beperken.

De noodzakelijk verbeteringen op het gebied van bescherming tegen biologische agentia moeten ook getoetst kunnen worden. Momenteel ontbreken evaluatiemiddelen om ColPro en de diverse subsystemen voldoende nauwkeurig te evalueren.

Voor medische toepassingen geldt dat inzicht verkregen dient te worden in de wijze waarop een besmette patiënt voldoende ontsmet kan worden zonder daarbij medische complicaties te veroorzaken.

Voor de bescherming tegen TIC's moet de wijze van optreden gekoppeld worden aan dreigniveaus's. Hierbij kan worden opgemerkt dat het tot stand komen van deze koppeling een vrij eenvoudige opgave is; er bestaan reeds diverse geformaliseerde informatie-bronnen zowel over agentia als over opslaghoeveelheden. Daarnaast is er voldoende kennis aanwezig om filters te maken die bescherming bieden tegen TIC's.

Logistiek

Naast de eerder omschreven ontwikkeling van regeneratieve filtersystemen en een 'end of service life indicator' dient onderzoek gericht te zijn op nieuwe materialen. Waar momenteel ColPro-systemen vaak binnen een bestaand systeem worden opgezet zou een ontwikkeling naar enkel laags materialen de opzet en afbreektijd alsook het gewicht sterk verminderen. Opzettijd kan verder worden verminderd door gebruik te maken van slimme constructies. Hierbij kan gedacht worden aan vouwconstructies maar ook aan materiaal met geheugeneigenschappen.

Specialisatie

De toepassing van ColPro heeft zich voornamelijk gericht op 'Rest and Relief' en medische onderkomens. Momenteel is er grote behoefte aan ColPro gericht op 'Command and Control'. Onderzoek naar en ontwikkeling van integratie van communicatie en ColPro is daarom belangrijk.

Tenslotte dient overwogen te worden welke specifieke dreiging er geldt voor bemanningen van vliegtuigen en helikopters. Aan de hand van deze dreiging zullen ook deze platformen als ColPro moeten worden uitgerust. Dit wordt bemoeilijkt door eisen

op het gebied van toegankelijkheid (deuren), de vaak beperkte ruimte en de hoge luchtsnelheden.

Leefbaarheid

ColPro richt zich primair op de bescherming tegen toxische stoffen die van buiten komen. Echter het verblijf in een ColPro betekent een langdurig verblijf in een kleine geïsoleerde ruimte; de kwaliteit van het leefklimaat binnen de ColPro staat hierdoor ook onder druk. Met name in de extreem warme of koude klimaten dient aandacht besteed te worden aan de temperatuur en vochthuishouding. Introductie van luchtbehandeling en zonnewerende en isolerende materialen is noodzakelijk. Hierbij dient ook aandacht besteed te worden aan een vermindering van de thermische zichtbaarheid. Het gebruik van airconditioning leidt niet altijd tot het gewenste resultaat. Er is nog weinig bekend over de gevolgen van temperatuurverschillen die optreden bij in- en uitreden van de ColPro op de mens. Daarnaast zijn ook de overige fysiologische effecten van het verblijf in ColPro onbekend.

Veel warmte, vocht en de aanwezigheid van mensen in een kleine ruimte maken ook dat de ruimte gevoelig wordt voor groei van bacteriën. Afvangst en/of het doden van deze mogelijke ziekteverwekkers kan door filters of slimme ColPro-materialen geschieden, hier is echter nog weinig over bekend.

Tenslotte valt of staat ColPro met de luchtstroom in het onderkomen. Technieken als 'computational fluid dynamics' kunnen gebruikt worden om de luchtstroom te verkennen en optimaliseren. Hoewel dit voor lege onderkomens niet al te lastig is, dienen de consequenties van het plaatsen van apparatuur en meubilair, alsmede de aanwezigheid van (bewegende) mensen, onderzocht te worden. Overigens kan CFD ook gebruik worden om de warmtehuishouding in kaart te brengen.

Samenwerking

Twee jaar geleden is binnen de NATO een werkgroep gestart waarin de hierboven beschreven problemen en de lopende onderzoeksprojecten besproken worden. Inmiddels is deze werkgroep opgegaan in de Physical Protection SubGroup onder LG/7. Nederland, in casu TNO-PML, heeft door deel te nemen aan de werkgroep zeer waardevolle informatie kunnen inwinnen.

Binnen Nederland bestaat geen faciliteiten om een gehele ColPro bloot te stellen aan toxische stoffen of simulantia. Engeland, Duitsland en Frankrijk kunnen dit wel. Samenwerking met deze landen is dan ook noodzakelijk voor de evaluatie en het verkrijgen van inzicht in de werking van ColPro en deelaspecten zoals reaërosolisatie. Via de ANNCP wordt geprobeerd zoveel mogelijk informatie te betrekken uit met name de UK. Engeland heeft een aanzienlijke ervaring met enerzijds CFD en anderzijds nieuwe materialen.

6 Specifieke kennis en onderzoeksbehoeften

6.1 Inleiding

Sinds het begin van de jaren negentig treed de krijgsmacht anders op dan tijdens de periode van de 'koude oorlog'. In het kader van VN, NATO, of andere multi-nationale initiatieven komt het nu tot frequente, daadwerkelijke inzet van onze krijgsmacht, in tegenstelling tot vroeger waarbij feitelijk alleen werd voorbereid voor het 'grote conflict'. Het huidige optreden vindt vrijwel altijd plaats in het verre buitenland, terwijl sprake is van zeer verschillende geweldsniveaus. Aangezien het moderne militaire optreden van Nederland in deze context een verlengstuk is van de buitenlandse politiek van de regering, is zorgvuldige besluitvorming gebaseerd op een juiste afweging tussen de risico's en de politieke doelstelling een absolute voorwaarde. Dit alles heeft tot gevolg dat de bescherming van de Nederlandse strijdkrachten in een ander licht komt te staan dan tijdens de 'koude oorlog'. Er moet tegemoet gekomen worden aan de eisen die andere klimaatgebieden stellen. Aan verplaatsbaarheid, communicatie en internationale standaardisatie worden hoge eisen gesteld. De risico's moeten zeer nauwkeurig bekend zijn; de bescherming dient daarop te zijn afgestemd. Dit resulteert in een behoefte aan ander, geoptimaliseerd materieel. Tevens zal de testmethodologie en infrastructuur aangepast moeten worden teneinde de nieuwe operationele omstandigheden goed te kunnen nabootsen.

In de zeer nabije toekomst zal er behoefte komen aan testen tegen strengere eisen. De maatschappelijke vraag naar een zorgvuldige ARBO-beleid en het groeiende inzicht in ziekmakende factoren, ook op lange termijn, zullen de criteria voor blootstelling aan toxische stoffen steeds verder omlaag brengen. Daarnaast spelen factoren in rol zoals het optreden onder zwaardere klimatologische omstandigheden. Ook het groeiende inzicht in het functioneren van het menselijk lichaam stelt nieuwe eisen: er is al jaren bekend dat onder stress en bij grote lichamelijke inspanning het ademdebiet veel hoger zal worden dan de 30 L/min, waar de huidige maskertest op gebaseerd is. De problemen van hulpverleners bij de ramp van 11 september 2001 hebben dit nog eens nader onderstreept. In de bioparagraaf van de triptych wordt alvast vooruit gelopen op deze ontwikkeling en een test gebaseerd op 50 L/min beschreven. Dit stelt aanzienlijk hogere eisen aan gasmasker en filter.

De mogelijkheid dat aerosolen via de huid schadelijke stoffen kunnen binnen brengen wordt pas recent onderkend. Momenteel wordt gewerkt aan het opzetten van testen om de ernst van dit risico in te schatten. Penetratie door kleding, depositie op cilinders en uiteindelijk depositie onder kleding moet in de komende jaren worden onderzocht. Een aantal projecten op dit gebied is in 2003 gestart.

Wanneer de offensieve capaciteit van onze opponent verbeterd, wordt ook decontaminatie weer relevanter. Depositie en re-aërosolisatie bepalen mede de noodzaak daarvan. Recent werd nog maar weinig aan decontaminatie gewerkt. Vanwege de nieuwe dreigingsinzichten heeft LG/7 besloten een SubGroup 'on Hazard Management' in het leven te roepen om de decontaminatieprotocollen en eisen te herzien. Het is ook voor Nederland belangrijk de kennis op dit gebied op te poetsen. Een duidelijke ontwikkeling op het gebied van deeltjesfilters is het gebruik van elektreet-filters. Deze kunnen bij gelijke of lagere ademweerstand (drukval) een hogere efficiëntie bereiken dan de huidige, zuiver mechanisch werkende, glasvezelfilters. Aangezien dergelijke filters in het algemeen gevoeliger zijn voor veroudering en blootstelling aan bepaalde chemische stoffen, is het van groot belang dat de filters bij blootstelling aan 'battlefield contaminants' zoals rook, roet en chemische strijdmiddelen

voldoende bescherming blijven bieden. Onderzoek naar de efficiëntiereductie van nieuwe, verbeterde elektreetmaterialen als gevolg van blootstelling aan allerlei chemicaliën en opslagcondities is van groot belang wanneer de toepassing in militaire filterbussen algemeen wordt.

6.2 Onderzoek en projecten

In de nabije toekomst zullen structureel acties ondernomen (moeten) worden om onze kennisgaten te dichten en huidige kennis up to date te houden. Deze acties zijn zo veel mogelijk ondergebracht in onderzoeksprojecten. De volgende onderwerpen worden voorzien.

- Aanpassen testen aan nieuwe en toekomstige eisen in de gasmaskertrijtych. Specifiek de invloed van hogere luchtsnelheden op de penetratie door de huidige en mogelijk toekomstige filters; testopstellingen aanpassen/verbeteren en testmethoden met verschillende deeltjesgroottes en bio-agentia of simulantia ontwikkelen.
- Ook de aerosol-lekkagetesten zouden nog verbeterd moeten worden. Dit aspect is nauw verweven met het onderwerp adembescherming en wordt daar uitgebreider behandeld. De reacties op onze presentatie bij de ISRP over lekkagetesten geven aan dat er nog steeds veel behoefte is aan kennis op dit gebied.
- Nieuwe elektreetmaterialen verzamelen en de invloed van belading met 'battlefield contaminants' en van opslagcondities testen.
- Ontwikkeling/keuze van lichtgewicht en comfortabele adembescherming zoals een neus-mondkapje, dat ook bescherming biedt tegen aerosolen; het huidige NBC-kapje beschermt slechts tegen chemische dreiging.
- Penetratie door kledingmaterialen en aerosoldepositie op de huid evalueren met behulp van cilindertesten; testopstelling verbeteren en testen uitvoeren. Resultaten vergelijken met testen op complete pakken (zelf uitvoeren of door derden zoals CRDC).
- Aerosoltesten voor NBC-kleding ontwikkelen en uitvoeren.
- Testopstelling voor ColPro-filters geschikt maken voor aerosoltesten, met name met bio-aerosolen.
- Bepalen van het gevaar als gevolg van een biologische aanval of incident; depositie en re-aerosolisatie. Het modelleringsaspect en het vergaren van goede data (aerosol decay rates, deeltjesgrootteverdeling etc.) om in de modellen in te voeren speelt daarbij een onmisbare rol.
- Onderzoek van re-aerosolisatie vanaf verschillende ondergronden. Een lopend project onderzoekt re-aerosolisatie vanaf kleding gerelateerd aan een veilige entree-procedure voor ColPro.
- De op het TNO-PML nog aanwezige kennis op het gebied van decontaminatie ophalen en uitbreiden, met name door deelname aan werkgroepen, conferenties en symposia.

6.3 **Additionele opmerkingen**

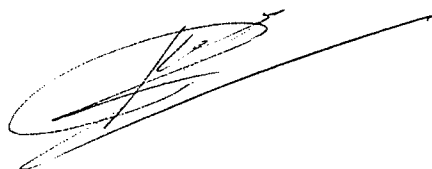
Naast de genoemde aspecten blijft samenwerking en communicatie met andere groepen zoals DIAC en DESI en met andere instituten zoals TNO-TM en TNO Industrie van groot belang. Met DESI wordt overlegd op het gebied van dreiging en scenario-analyse. Researchgroep Detectie, Identificatie & Biologische Bescherming (DIAC) geeft veel input op microbiologisch gebied.

Deelname aan internationale samenwerkingsverbanden en werkgroepen is essentieel, omdat het TNO-PML te klein is om zelf alle relevante onderwerpen te onderzoeken, en op die wijze wordt veel informatie alsnog verkregen. Natuurlijk moet als tegenprestatie eigen inbreng geleverd worden zowel qua informatie als inspanning (uren/reizen)). Ook deelname aan veldtesten levert vaak veel meer informatie op dan de eigen data.

7 Ondertekening

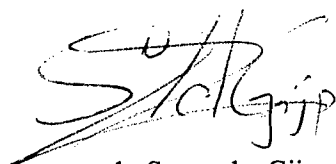
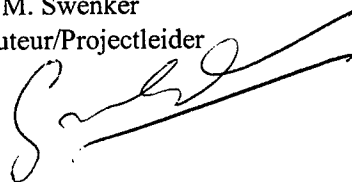
Rijswijk, februari 2005

TNO Defensie en Veiligheid



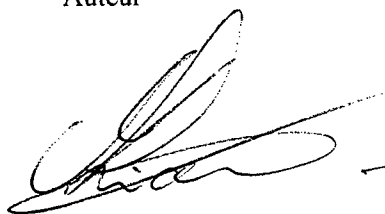
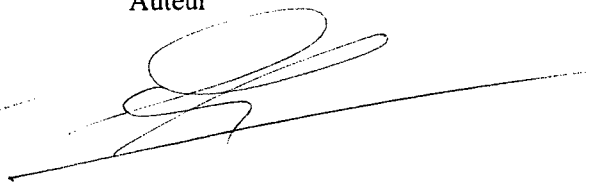
ir. R.J.A. Kersten
Manager Operaties

G.M. Swenker
Auteur/Projectleider



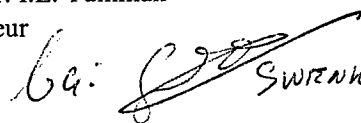
dr. S. van der Gijp
Auteur

drs. T. van Houwelingen
Auteur



dr. ir. M.J.G. Linders
Auteur

dr. ir. I.L. Tuinman
Auteur

64:  SWENKER

ONGERUBRICEERD
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2005-0001	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO DV2 2005-A1
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 014.16362	5. CONTRACT NO B04CO4AU	6. REPORT DATE February 2005
7. NUMBER OF PAGES 32 (excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 0	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Physical Protection; the state of the art		
11. AUTHOR(S) Dr. S. v.d. Gijp, Dr. M.J.G. Linders, T. van Houwelingen, Dr. I.L. Tuinman and G.M. Swenker		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence Security and Safety, location Rijswijk, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Koninklijke Landmacht/MATLOGCO/BBV/KPU-Bedrijf P.O. Box 109 3769DA Soesterberg, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) <p>The study gives an overview of the current state of the art in physical protection. Protection provided to personnel by protective barriers in a military NBC-environment is considered. This covers respiratory protection, skin protection and collective protection. Air purification forms a base for the three aspects of protection. The most used current technologies and equipment types are mentioned and explained. Current problems and short-comings are mentioned and explained in the light of the modern threat and current operational use. Promising technologies that may solve these shortcomings in the nearby future are described and explained. Developments within NATO regarding doctrine and requirements are incorporated as well as the most recent develop-ments of technology by companies. Alternative sorption technologies and improved filtration are considered to be of importance for the coming years, as well as new lightweight materials, active materials and improved, modular or integrated design with lesser physiological burden for the user. The study will provide a guideline regarding technology and equipment development in the field of military CB-defence for the next decade.</p>		
16. DESCRIPTORS Physical protection IPE Respiratory protection Skin protection NBC-clothing		IDENTIFIERS Collective protection Soldier Modernization Program NBC-defence Aerosol protection
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

ONGERUBRICEERD

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.

- 4 ex. SC-WOO
- 8 ex. HWO-KL
- 4 ex. HWO-KLu
- 5 ex. HWO-KM
- 4 ex. HWO-CO
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur
ir. P.A.O.G. Korting
- 3 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Operaties, ir. C. Eberwijn
Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, dr. D.W. Hoffmans
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, accountdirector CO
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager
Waarnemingssystemen (operaties), dr. M.W. Leeuw
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager
Beleidsstudies Operationele Analyse en Informatie Voorziening
(operaties), drs. T. De Groot
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager Bescherming,
Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Manager Gedrag, Training en Prestatie (operaties), drs. H.J. Vink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Communicatiemanager TNO Defensie en Veiligheid,
P.M. van Bergem-Jansen
- 1 ex. Lid Instituuts Advies Raad D&V
BGen. prof. J.M.J. Bosch
- 1 ex. Lid Instituuts Advies Raad D&V
prof. dr. U.A. Th. Brinkman

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

- 1 SC-WOO
- 2 HWO-CO
- 3 MGFB, KLTZAR N.I. van Zaalén-Boelema Robertus,
Programmabegeleider Defensie

- 4/6 Koninklijke Landmacht/MATLOGCO/BBV/KPU-Bedrijf ; ir J.F. Engelen
- 7 Min. van Def./CO/DefensieStaf/Joint Kenniscentrum NBC
Maj M.G. Huisman
- 8/10 Bibliotheek KMA
- 11 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager
BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 12 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager
BC Bescherming (kennis) dr. R.W. Busker
- 13 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager
BC Bescherming (markt), ir. G.C. de Valk
- 14/15 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Informatie- en
Documentatiedienst
- 16 TNO Defensie en Veiligheid, dr.ir. M.S. Nieuwenhuizen
- 17/21 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk
Business Unit BC Bescherming, dr. S. van der Gijp, dr. ir. M.J.G. Linders,
drs. T. van Houwelingen, dr. ir. I.L. Tuinman en G.M. Swenker
- 22 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Marketing en
Communicatie, digitale versie via Archief